以下是按照代码功能模块划分的详细说明，采用与示例文档相同的结构化格式：

---

### \*\*数据库管理模块（DatabaseManager类）\*\*

#### \*\*1-9行：依赖导入\*\*

- 导入MySQL连接池、类型注解等核心库

- 支持连接复用和线程安全操作

#### \*\*11-39行：连接池初始化\*\*

- 创建可复用的数据库连接池（5个连接）

- 配置主机、用户、密码、数据库名等参数

- 设置自动提交事务模式

#### \*\*41-80行：核心数据库操作\*\*

- `execute\_query()`：执行查询并返回字典列表（用于SELECT）

- `execute\_update()`：执行更新返回影响行数（用于INSERT/UPDATE/DELETE）

- 封装常用查询：用户ID转用户名、好友列表、群组列表等

---

### \*\*认证服务模块（AuthService类）\*\*

#### \*\*83-120行：安全工具方法\*\*

- `\_hash\_password()`：SHA-256加盐密码哈希

- `\_verify\_password()`：安全密码比对

- `\_validate\_username()`：用户名格式校验（3-20位字母数字）

- `\_validate\_email()`：简易邮箱格式校验

#### \*\*122-180行：用户注册\*\*

1. 校验输入格式

2. 检查用户名/邮箱冲突

3. 教师账号特殊验证

4. 密码哈希后入库

5. 返回用户ID或错误信息

#### \*\*182-260行：用户登录\*\*

- 失败尝试限制（5次锁定5分钟）

- 自动清理过期锁定记录

- 密码验证成功后重置计数器

- 返回用户基础信息或锁定状态

---

### \*\*好友服务模块（FriendService类）\*\*

#### \*\*263-320行：好友关系管理\*\*

- `send\_request()`：发送好友请求（自动排序用户ID防重复）

- `handle\_request()`：处理请求（接受/拒绝）

- `remove\_friend()`：删除好友关系

- 状态检查：已存在关系验证

#### \*\*322-350行：数据查询\*\*

- `get\_friends()`：获取完整好友列表（含在线状态）

- `get\_pending\_requests()`：查询待处理请求

- 关联用户表获取头像等附加信息

---

### \*\*群组服务模块（GroupService类）\*\*

#### \*\*353-420行：群组管理\*\*

- `create\_group()`：创建群组（含初始成员批量添加）

- 事务处理保证数据一致性

- 自动设置创建者为owner角色

- `add\_member()`：管理员添加成员（权限验证）

#### \*\*422-450行：数据查询\*\*

- `get\_user\_groups()`：获取用户所属群组列表

- 包含成员数统计

- 返回用户角色信息（owner/admin/member）

---

### \*\*消息服务模块（MessageService类）\*\*

#### \*\*453-520行：消息收发\*\*

- `send\_message()`：发送消息（私聊/群聊）

- 接收者存在性验证

- 群组成员权限检查

- 支持文本/文件消息类型

- 消息持久化存储

#### \*\*522-580行：消息查询\*\*

- `get\_messages()`：获取历史消息

- 私聊消息双向匹配（A→B和B→A）

- 群聊消息按时间倒序

- 分页支持（page/page\_size参数）

---

### \*\*系统架构特点\*\*

1. \*\*分层设计\*\*

- 数据库层：纯SQL操作封装

- 服务层：业务逻辑实现

2. \*\*安全机制\*\*

- 密码加盐哈希存储

- 登录失败锁定

- SQL参数化查询防注入

3. \*\*扩展性\*\*

- 模块化服务类设计

- 类型注解提升可维护性

- 标准化的成功/错误响应格式

4. \*\*性能优化\*\*

- 数据库连接池

- 批量操作支持（如群组初始成员添加）

- 消息分页查询

---

】